

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Školní tabule

Blackboard

Student:

Jakub Siro

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tadeáš Szlachta, Ph.D.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Siro

Adresa trvalého pobytu autora práce: Korňa, Vyšná Korňa 905, SR

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Siro, J. *Školská tabuľa : bakalárska práca*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2010, 37 s. Vedoucí práce: Szlachta, T.

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a výpočtom školskej tabule. Jedná sa o tabuľu s rozmermi 1000 x 3000 mm s možnosťou zdvihu o 500 mm. Pri návrhu tabule uvažujem s možnosťou zavesenia štyroch študentov. Cieľom bakalárskej práce je navrhnuť bezpečnú tabuľu, ktorá bude konkurencie schopná. Použité riešenia zabezpečujú hladký zdvih. Pri dostatočnom namazaní minimálnu hlučnosť, reťazové kola umožňujú bezpečný a presný posuv závažia a tabule. Rám tabule sa jednoducho pripevní na stenu pomocou štyroch chemických kotiev. Na takto upevnený rám sa zavesí závažie a pomocou ďalších štyroch skrutiek sa upevní tabuľa. Tabuľa je navrhnutá s ohľadom na bezpečnosť, jednoduchú montáž a cenovú dostupnosť.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Siro, J. *Blackboard : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine parts and Mechanisms, 2010, 37 p. Thesis head: Szlachta, T.

This bachelor thesis is dealing with desing and computing of school blackboard. The blackboard has dimension of 1000 x 3000 mm with possible 500 mm lift.

By desing of the table I counts with option of overweighting the table by hanging four students. The goal of this thesis is to design the safe and tenderable blackboard.

Used solutions ensure smooth lift, minimum noise level, chain wheels enable safe and precise movement of the blackboard and the weight. Frame of the blackboard can be easily attached to the wall using four chemical anchors. The weight is hung on that frame and the blackboard is attached with another four screws. Blackboard is designed with regard to safeness, easy install and cost-availability.

Obsah

Zoznam použitých značiek a symbolov	7
Úvod.....	9
1. Prehľad podobných výrobkov	10
2. Voľba komponentov tabule	13
2.1 Určenie typu zdvihového mechanizmu a písacej plochy	13
2.2 Voľba kladky	13
2.3 Voľba dorazu	13
3. Schéma princípu mechanizmu	15
4. Dimenzovanie osy.....	17
4.1 Kinematická schéma	17
4.2 Výpočet tiaži	17
4.3 Výpočet ohybových momentov a posúvajúcich síl.....	18
4.4 Pevnostná kontrola osy.....	20
4.5 Kontrola osy na dovoľený priehyb	22
5. Návrh ložiska	23
5.1 Výpočet otáčok ložiska	23
5.2 Statická kontrola	24
5.3 Kontrola ložiska na dovoľené natočenie.....	24
6. Kontrola reťazového kola.....	25
6.1 Výpočet dĺžky náboja kladky	25
7. Návrh reťaze	26
7.1 Výpočet reťaze.....	26
8. Výpočet zvaru.....	28
9. Kotviace skrutky	32
10. Záver	34
11. Zoznam použitej literatúry	35
12. Zoznam príloh.....	36

Zoznam použitých značiek a symbolov

C_0	Statická únosnosť ložiska	[N]
F_{MAX}	Maximálna sila	[N]
F_{pt}	Maximálna dovolená sila v reťazi	[N]
F_{T1}	Ťahová sila v skrutke 1	[N]
F_{T2}	Ťahová sila v skrutke 2	[N]
F_{DT}	Dovolená ťahová sila v skrutke	[N]
$G_{4š}$	Tiaž štyroch študentov	[N]
G_T	Tiaž tabule	[N]
J_X	Kvadratický moment	[mm ⁴]
L	Dĺžka osy	[mm]
M_{O1}	Ohybový moment v mieste 1	[N.m]
M_{O2}	Ohybový moment v mieste 2	[N.m]
M_{O3}	Ohybový moment na spodnej doske	[N.m]
P_0	Ekvivalentné zaťaženie ložiska	[N]
P_V	Tlak v reťazi	[MPa]
R	Polomer zaoblenia	[mm]
R_A	Reakcia v podpore A	[N]
R_B	Reakcia v podpore B	[N]
R_B	Reakcia v podpore B	[N]
$Re_{11\ 523}$	Mez klzu	[MPa]
$Re_{14\ 220,4}$	Mez klzu	[MPa]
S	Obsah čapu reťaze	[mm ²]
S_0	Bezpečnosť ložiska	[-]
V_{MAX}	Maximálny priehyb	[mm]
W_{O1}	Modul odporu v mieste 1	[mm ⁴]
W_{O2}	Modul odporu v mieste 2	[mm ⁴]
W_{OX}	Modul odporu v ohybe	[mm ³]
a	Vzdialenosť podpor	[mm]
b	Vzdialenosť podpor	[mm]
b_2	Šírka reťazového čapu	[mm]
c	Vzdialenosť podpor	[mm]
d	Rameno ohybového momentu M_{O2}	[mm]

d_1	Vnútorňý priemer osy	[mm]
d_2	Priemer reťazového čapu	[mm]
d_2'	Stredný priemer osy	[mm]
d_3'	Vonkajší priemer osy	[mm]
d_a	Roztečný priemer reťazového kola	[mm]
e	Vzdialenosť k ťažisku	[mm]
e_{MAX}	Maximálna vzdialenosť k ťažisku	[mm]
f	Vzdialenosť podpor	[mm]
g	Gravitačná konštanta	[m/s]
h	Vzdialenosť podpor	[mm]
ks_1	Bezpečnosť v mieste 1	[-]
ks_2	Bezpečnosť v mieste 2	[-]
ks_r	Bezpečnosť reťaze	[-]
l	Šírka reťazového kola	[mm]
l_1	Dĺžka profilu C	[mm]
l_2	Šírka profilu C	[mm]
m_s	Hmotnosť študenta	[kg]
m_T	Hmotnosť tabule	[kg]
m_Z	Hmotnosť závažia	[kg]
n	otáčky	[min ⁻¹]
s	Dĺžka dráhy zdvihu tabule	[mm]
t	Čas zdvihu tabule	[s]
v	Rýchlosť zdvihu tabule	[m/s]
V_D	Maximálny dovolený priehyb	[mm]
x_T	Vzdialenosť ťažiska v ose x	[mm]
y_T	Vzdialenosť ťažiska v ose y	[mm]
z	Vzdialenosť prehybu v kritickom mieste	[mm]
α_{max}	Dovolené natočenie ložiska	[°]
$\alpha_{\sigma 0}$	Vrubový súčiniteľ pre ohyb	[-]
π	Rudolfovo číslo	[-]
σ_{01}	Ohybové napätie v kritickom mieste 1	[MPa]
σ_{02}	Ohybové napätie v kritickom mieste 2	[MPa]
Ψ_A	Natočenie ložiska	[°]
ω	Uhlová rýchlosť tabule	[Rad ⁻¹]

Úvod

V tejto bakalárskej práci sa zaoberám návrhom a výpočtom školskej tabule. Jedná sa o tabuľu s rozmermi 1000 x 3000 mm s možnosťou zdvihu o 500 mm. Pri návrhu tabule uvažujem s možnosťou zavesenia štyroch študentov. Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť bezpečnú tabuľu, ktorá bude konkurencie schopná a bude spĺňať parametre zadania bakalárskej práce.

1. Prehľad podobných výrobkov

Trh v súčasnej dobe ponúka rôzne typy školských tabúľ, ktoré môžeme zjednodušene rozdeliť na :

- a) Podľa spôsobu uchytenia :
- Uchytené na stene, obr.1.1
 - Voľne položené v miestnosti, obr.1.2



Obr.1.1 Keramická tabuľa zelená s uchytením na stenu



Obr.1.2 Keramická tabuľa vybavená štyrmi kolieskami

b) Podľa použitého zdvihového mechanizmu :

- Pylónové, obr.1.3
- Koľajnicové, obr.1.4
- Princíp protizávažia

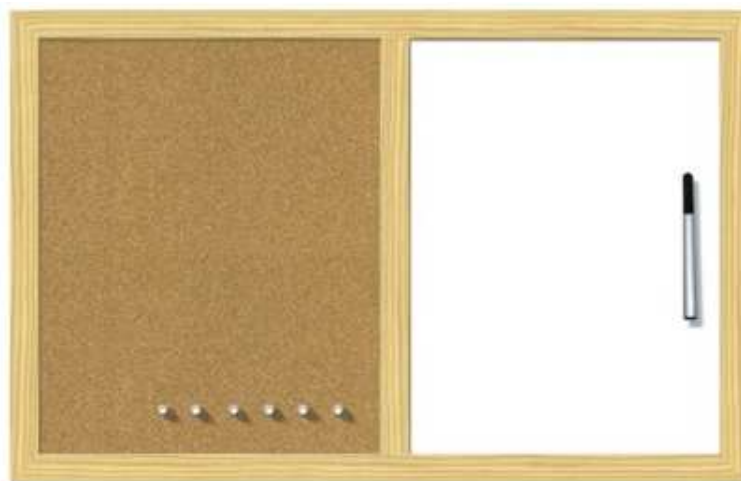


Obr.1.3 Pylónový mechanizmus



Obr.1.4 Koľajnicový mechanizmus

- c) Podľa materiálu písacej plochy
- Keramické (biela, zelena, atd., viz obr.1.1,1.2)
 - Korkové
 - Korkovo- keramické, obr.1.5



Obr.1.5 Korkovo- keramická tabuľa

- d) Podľa použitého nástroja na písanie
- Krieda
 - Fix
- e) Interaktívne tabule: prehrávajú video, na tabuľu sa píše špeciálnou fixkou, obr. 1.6



Obr.1.6 Interaktívna tabuľa

2. Voľba komponentov tabule

V tejto kapitole sa budem zaoberať voľbou funkčných častí tabule.

2.1 Určenie typu zdvihového mechanizmu a písacej plochy

Vzhľadom k tomu, že rozmery tabule sú 3000x1000 mm, jedná sa o ťažké zariadenie. Preto volím tabuľu pevne uchytenú na stene.

Zo zadania plynie zdvih tabule o 500 mm, preto je potrebné zvoliť vhodný zdvihový mechanizmus. Jedná sa o vertikálny posuv, preto odpadá možnosť použitia koľajnicového mechanizmu, ktorý sa prevažne používa na horizontálny posuv tabule. Pylónový mechanizmus je náročnejší na presnosť a teda aj drahší, ako mechanizmus pracujúci na princípe protizávažia. Z toho dôvodu volím mechanizmus, ktorý pracuje na princípe protizávažia. Zdvíhací mechanizmus je vedený v dvoch oceľových C profiloch na plastových kladkách, viz obr.2.2 a obr.3.1.

Ďalej treba zvoliť z akého materiálu bude plocha na písanie. Volím biely keramický povrch na ktorý sa píše fixkou. Výhodou je zdraviu neškodlivá fixka, oproti kriede a magneticky povrch.

2.2 Voľba kladky

Remeňová kladka: medzi výhody patrí tichý chod, zachytáva a tlmí chvenie, jednoduchá a lacná výroba. Nevýhody: nie je možné uchytiť remeň o závažie, preklzávanie remeňa.

Reťazová kladka: medzi výhody patrí bezpečný prenos obvodovej sily tvárnou väzbou, teda bez sklzu, ľahká montáž, dlhá životnosť. Nevýhody: hlučnosť, ktorá sa dá čiastočne odstrániť mazaním.

Lanová kladka: medzi výhody patri tichý chod. Nevýhody: preklzávanie lana.

Volím reťazovú kladku, ktorá zabezpečuje rovnomerný chod tabule a závažia. Jemne doladenie polohy závažia zabezpečuje upevňovacia skrutka, zobrazená na obr.3.3.

2.3 Voľba dorazu

Doraz je dôležitou časťou celého mechanizmu. Požiadavky kladené na doraz sú dostatočná tuhosť a zároveň schopnosť tlmiť rázy, ktoré vzniknú od zdvihu tabule. Dôležitým kritériom pri rozhodovaní je aj cena.

Pružiny: medzi výhody patri veľká tuhosť. Nevýhody: hmotnosť, cena.

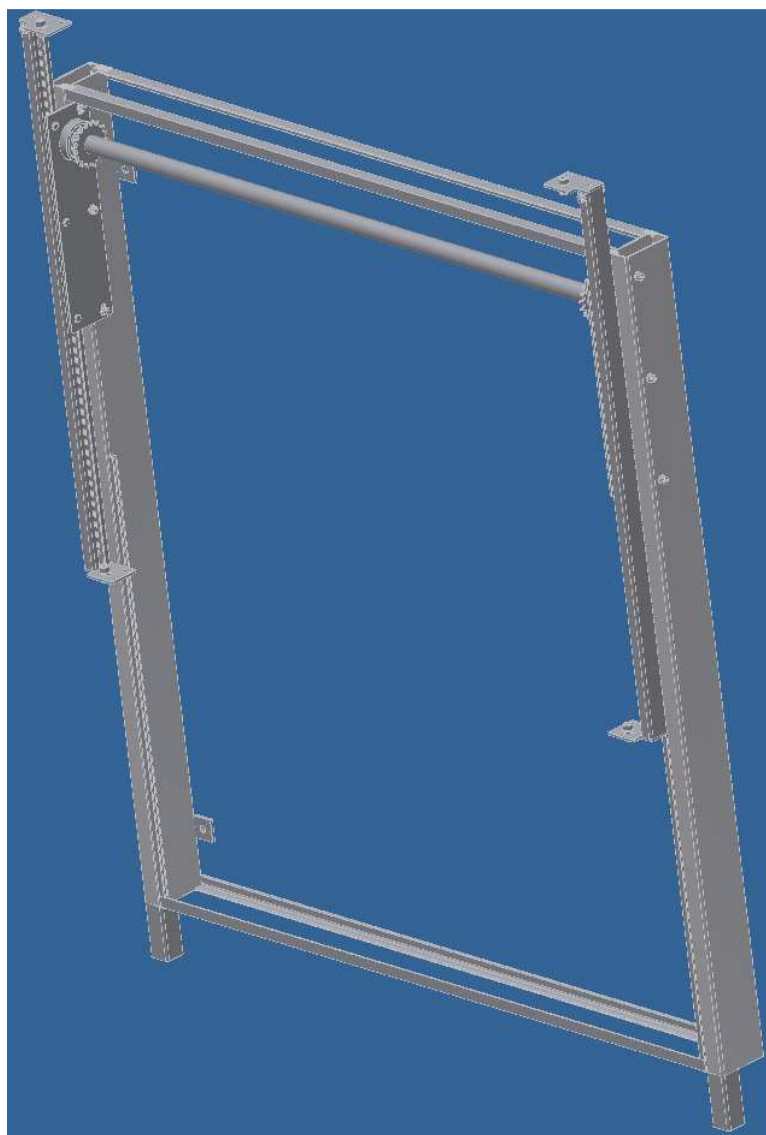
Pneumatický tlmič: výhodou je dobrá tuhosť. Jedná sa ale o veľmi drahé zariadenie.

Gumený soft doraz: medzi výhody patrí cena. Nevýhody: malá únosnosť.

Volím Soft doraz, ktorý je výrazne lacnejší ako pružina alebo pneumatický tlmič.

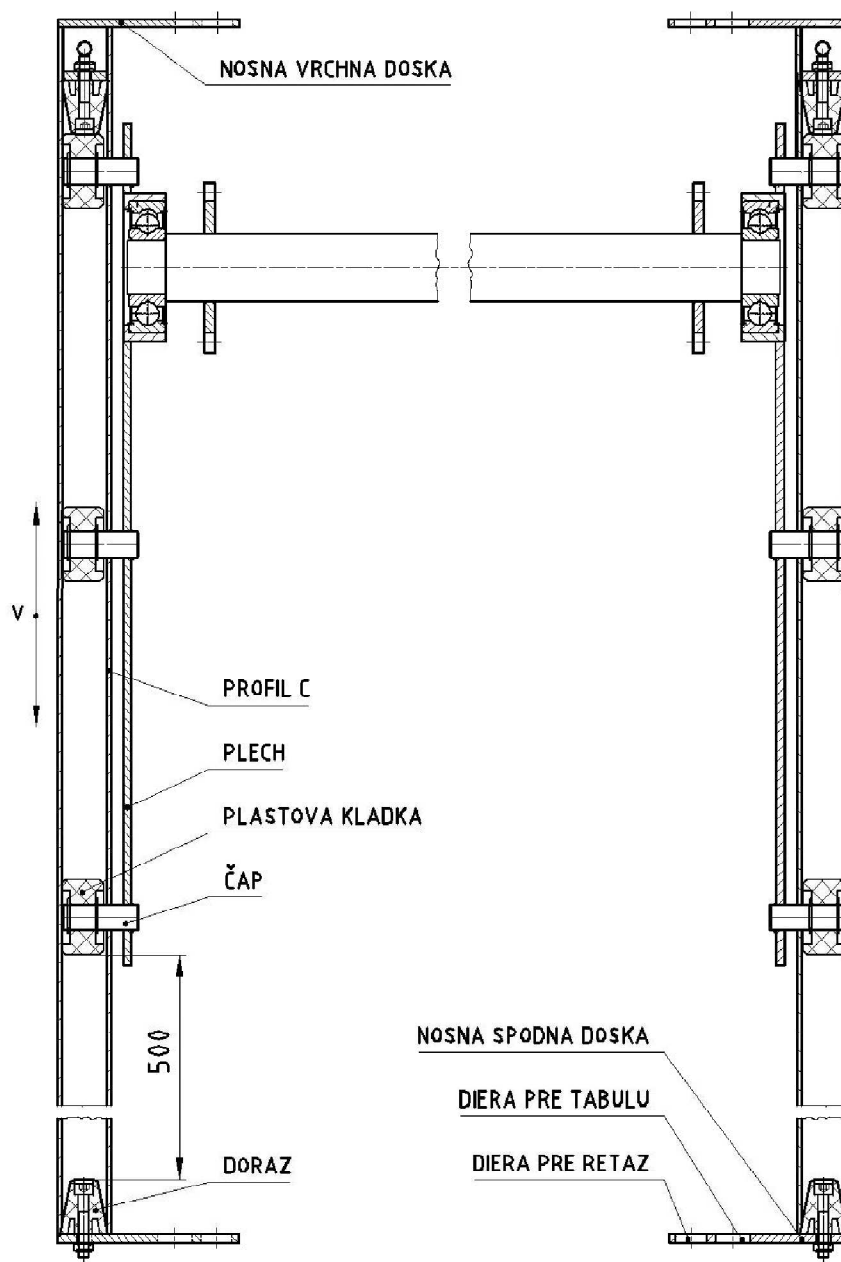


Obr.2.1 Soft doraz



Obr.2.2 Pohybový mechanizmus upevnený v ráme

3. Schéma princípu mechanizmu

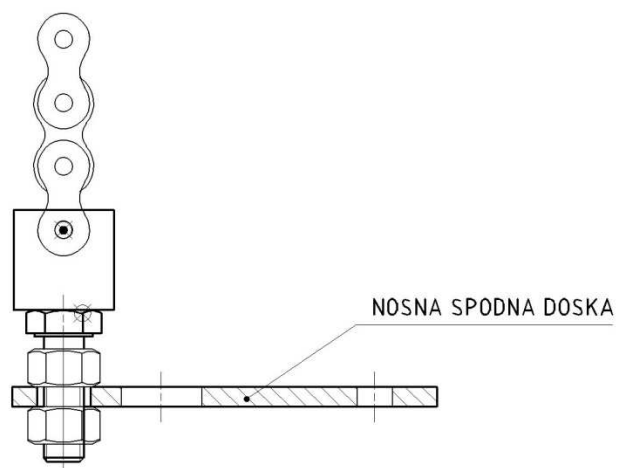


Obr. 3.1 Pohybový mechanizmus

Na obrázku 3.1 je znázornený pohybový mechanizmus tabule. Jedná sa o mechanizmus, kde je plech pevne uchytený v ráme, ktorý je pevne uchytený na stene. Plech je spoločne spojený s čapom pomocou kútového zvaru. Z obr.3.1 plynie zdvih tabule o 500 mm

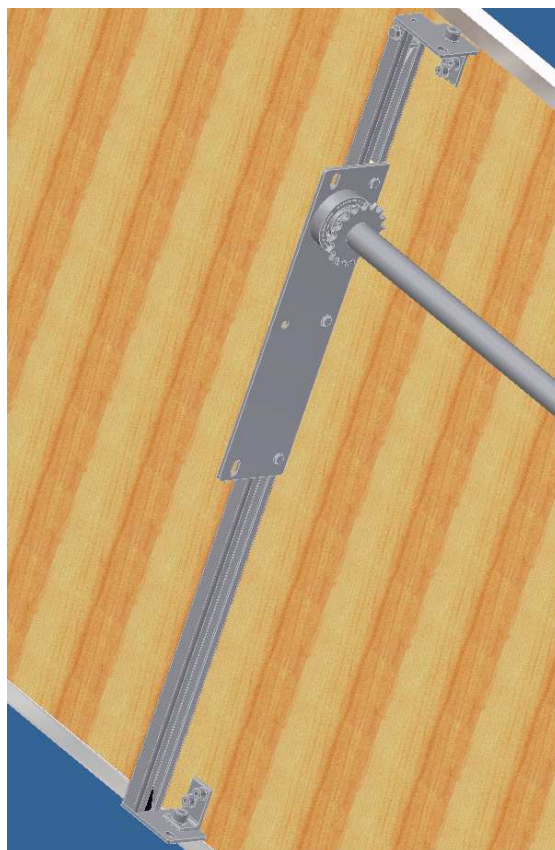
Na čape je umiestnená plastová kladka, ktorá sa odvaľuje v profile C. Doraz vplyvom vertikálneho posuvu doráža na plastovú kladku. Na nosných doskách je umiestnená tabuľa, ktorá je pevne zaistená proti posunu skrutkou, viz. obr.3.4. V nosných doskách je

umiestnená drážka, ktorá slúži na zaistenie reťaze. Reťaz sa dá výškovo nastaviť pomocou skrutky, s ktorou je spojená zvarom, viz. obr.3.3. Na druhej strane reťaze je zavesené závažie.



Obr.3.3 Spojenie reťaze s nosnou doskou

Vrchná nosná doska je spojená s profilom C pomocou dvoch skrutiek. Toto riešenie som zvolil kvôli tomu, aby bolo možné povrch profilu C a plechu upraviť náterom a aby bol zabezpečený pomerne jednoduchý servis v prípade poškodenia tabule.



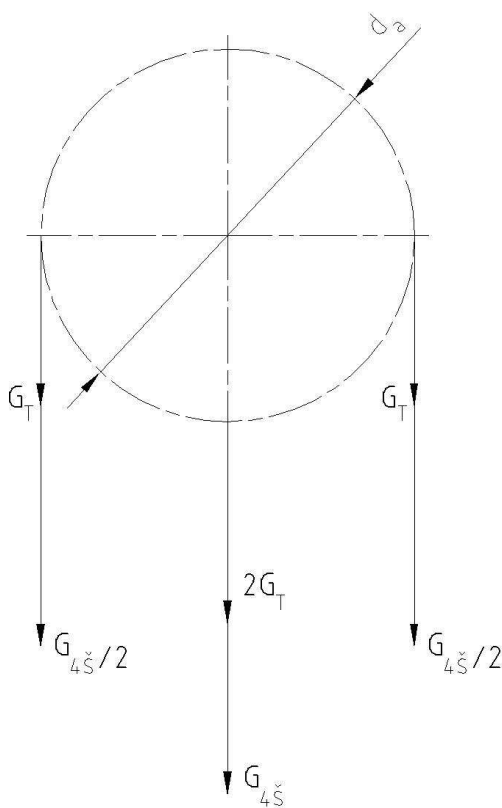
Obr.3.4 Spojenie tabule s pohybovým mechanizmom

4. Dimenzovanie osy

V tejto kapitole sa zaoberám návrhom a kontrolou osy. Os zabezpečuje rovnomerný zdvih a posun závažia.

4.1 Kinematická schéma

Na os pôsobia sily od hmotnosti tabule a protizávažia G_T , ďalej sila od štyroch študentov, ktorý sa zavesia na tabulu $G_{4\check{s}}$, obr.4.1



Obr.4.1 Silový rozbor osy

4.2 Výpočet tiaži

Hmotnosť tabule som určil z modelu zostavy tabule, $m_T = 69\text{kg}$. Hmotnosť tabule a závažia je rovnaká, $m_T = m_Z$.

Výpočet tiaže tabule:

$$G_T = m_T \cdot g \quad (4.1)$$

$$G_T = 69 \cdot 9,81 = 676,89 \text{ N}$$

Hmotnosť jedného študenta som volil z internetu, $m_s=82,4\text{kg}$.

Výpočet tiaže štyroch študentov G_{4s} :

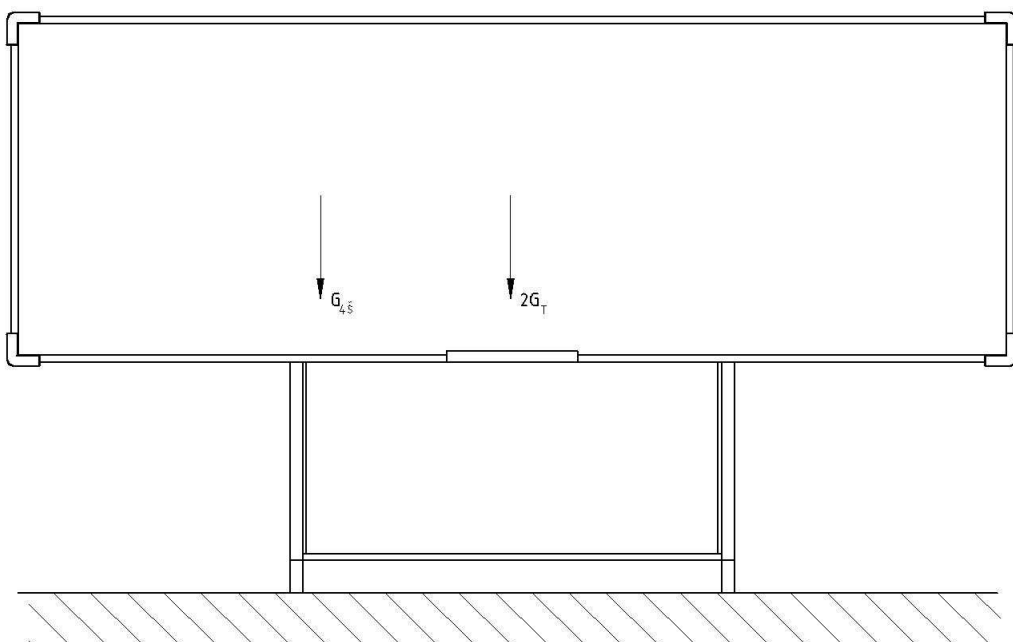
$$G_{4s} = 4 \cdot m_s \cdot g \quad (4.2)$$

$$G_{4s} = 4 \cdot 82,4 \cdot 9,81 = 3233,38 \text{ N}$$

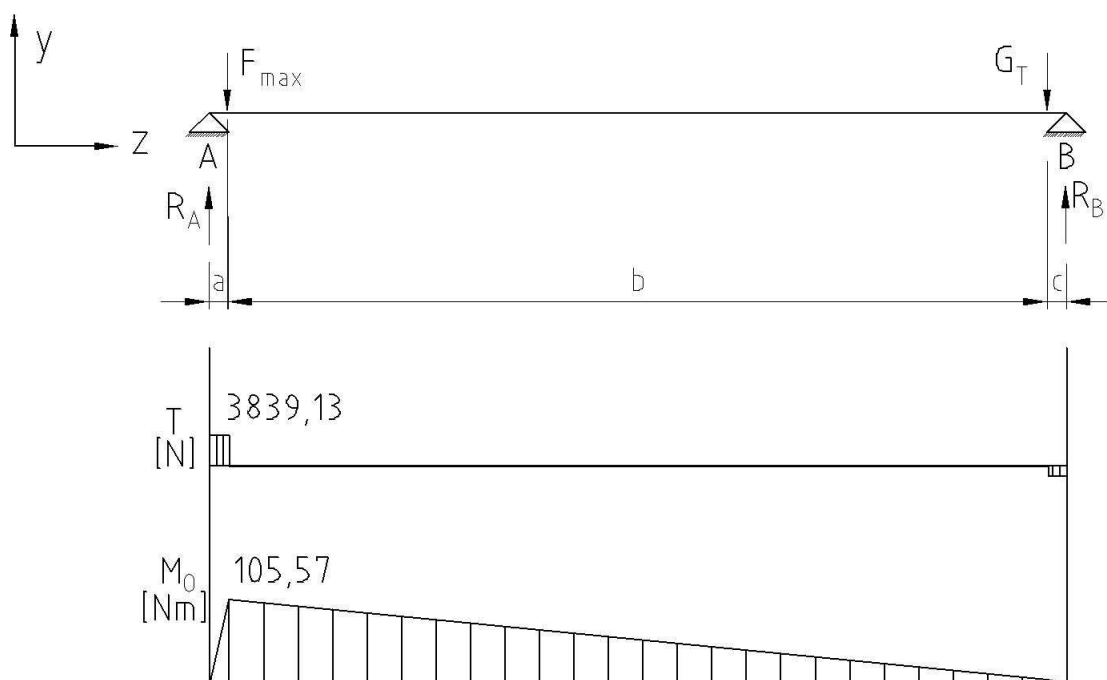
4.3 Výpočet ohybových momentov a posúvajúcich síl

Kritická situácia nastane vtedy, keď sa na jeden koniec tabule zavesia štyria študenti naraz.

Tiaž od študentov sa rozloží do najbližšej podpory a tiaž od tabule a závažia sa rozdelí na polovicu do dvoch podpor, obr.4.2. Na obr.4.3 je znázornený priebeh posúvajúcich síl a ohybových momentov.



Obr.4.2 Pôsobenie síl na tabuľu



Obr.4.3 Priebeh posúvajúcich síl a ohybových momentov

$$a = c = 27,5 \text{ mm}$$

$$b = 1188 \text{ mm}$$

Výpočet sily na reťazovom kole:

$$F_{\max} = G_T + G_{4\check{S}} \quad (4.3)$$

$$F_{\max} = 676,89 + 3233,38 = 3910,69 \text{ N}$$

Výpočet reakcií v ose y:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (4.4)$$

$$R_A + R_B - G_{\max} - G_T = 0$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad (4.5)$$

$$R_B \cdot (a + b + c) - G_T \cdot (a + b) - F_{\max} \cdot a = 0,$$

$$R_B = \frac{G_T \cdot (a + b) + F_{\max} \cdot a}{a + b + c} = \frac{676,89 \cdot (27,5 + 1188) + 3910,69 \cdot 27,5}{27,5 + 1188 + 27,5} = 748,45 \text{ N}$$

Dosadením reakcie R_B do rovnice (4.4), dostanem reakciu R_A .

$$R_A = G_{\max} + G_T - R_B = 3910,69 + 676,89 - 748,45 = 3839,13 \text{ N} \quad (4.6)$$

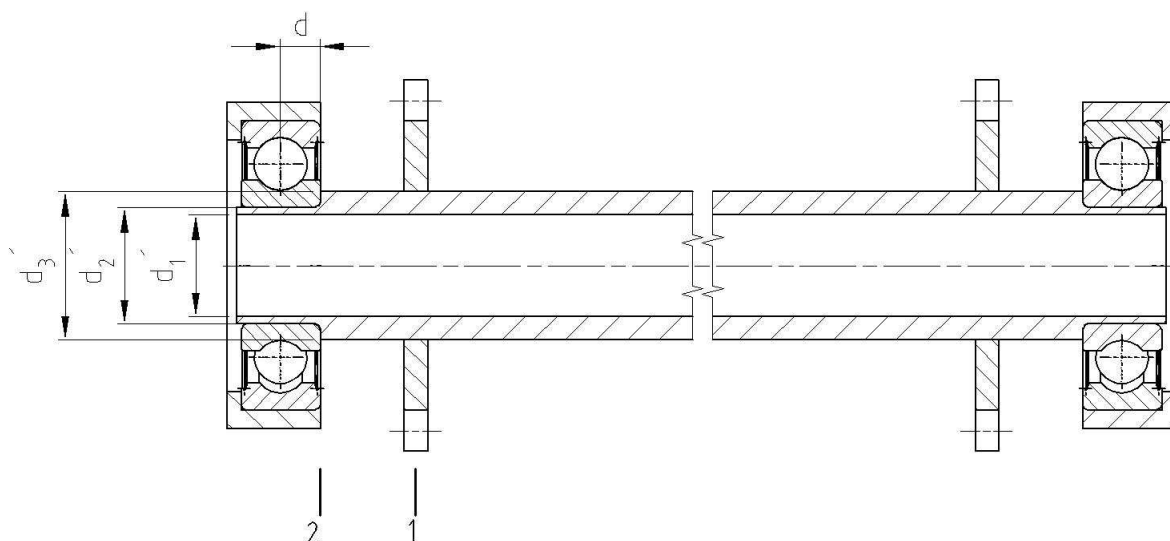
Podľa vypočítanej reakcie R_A spočítam maximálny ohybový moment.

$$M_{o1} = R_A \cdot a \quad (4.7)$$

$$M_{o1} = 3839,13 \cdot 27,5 = 105576,1 \text{ Nmm}$$

4.4 Pevnostná kontrola osy

Pevnostnú kontrolu robím v mieste kde os mení svoj prierez, na obr.4.4 je znázornený pod číslom 2. a v mieste, kde je najväčší ohybový moment, na obr.4.4 je znázornený pod číslom 1.



Obr.4.4 Os

$$d_1' = 21,8 \text{ mm}$$

$$d_2' = 25 \text{ mm}$$

$$d_3' = 31,8 \text{ mm}$$

$$d = 17 \text{ mm}$$

Výpočet ohybového napätia v mieste 1:

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} \quad (4.8)$$

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_3'^4 - d_1'^4}{d_3'}} = \frac{105586,1}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{31,8^4 - 21,8^4}{31,8}} = 42,9 \text{ MPa}$$

Kde $d_3' = 31,8$ mm, je priemer hriadeľa v kritickom mieste 1, $d_1' = 21,8$ mm je priemer vnútornej diery.

Pevnostná podmienka:

$$\sigma_{01} \leq \sigma_{D1} \quad (4.9)$$

$$\sigma_{01} \leq \frac{Re}{k_s} \quad (4.10)$$

Upravením vzťahov (4.9) a (4.10) dostanem vzťah pre výslednú bezpečnosť.

$$k_s \geq \frac{Re}{\sigma_{01}} = \frac{333}{42,9} = 7,7 \quad (4.11)$$

Materiál osy volím 11 523.0, ktorý ma dobrú zvariteľnosť a mez kluzu $Re = 333$ MPa.

Pretože do styku so zariadením prichádzajú ľudia bezpečnosť musí byť v rozsahu 2 až 2,5.

Bezpečnosť v mieste jedna vyšla 7,7. Os vyhovuje.

Výpočet ohybového napätia v mieste 2:

$$\sigma_{02} = \frac{M_{02}}{W_{02}} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{02} = \frac{M_{02}}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2'^4 - d_1'^4}{d_2'}} = \frac{65562,21}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{25^4 - 21,8^4}{25}} = 100,9 \text{ MPa}$$

Kde $d_2' = 25$ mm, je priemer hriadeľa v kritickom mieste 2, $d_1' = 21,8$ mm je priemer vnútornej diery.

Výpočet ohybového momentu v mieste 2:

$$M_{02} = R_A \cdot d \quad (4.13)$$

$$M_{02} = 3839,13 \cdot 17 = 65562,21 \text{ Nmm}$$

Výpočet bezpečnosti v mieste 2:

$$\sigma_{02} \cdot \alpha_{\sigma 0} \leq \frac{Re}{k_s} \quad (4.14)$$

$$k_s \geq \frac{Re}{\sigma_{02} \cdot \alpha_{\sigma 0}} = \frac{333}{100,9 \cdot 1,6} = 2 \quad (4.15)$$

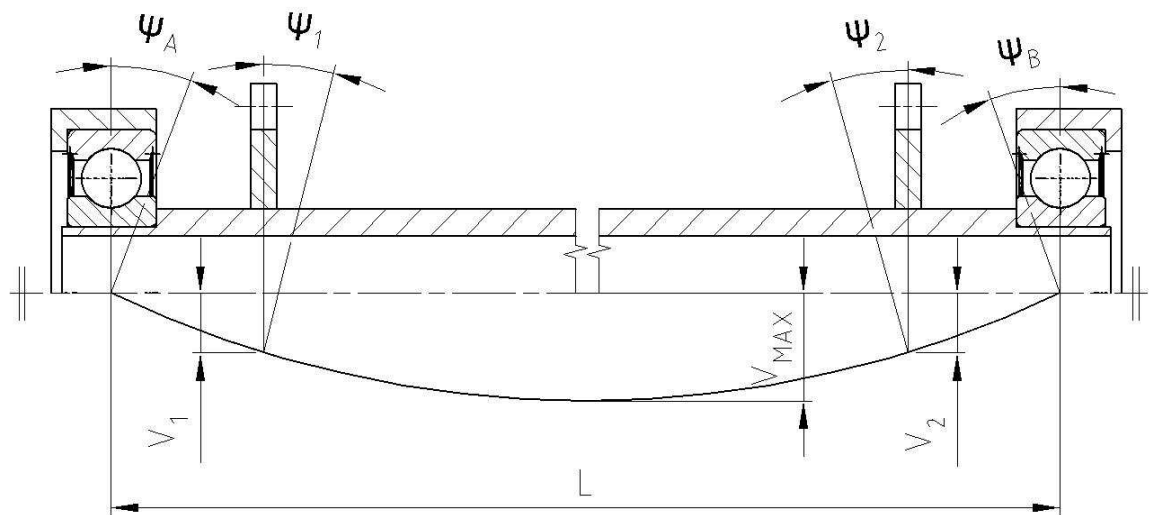
Kde $\alpha_{\sigma 0} = 1,6$ je súčiniteľ koncentrácie napätia pre ohyb, volím z [1]. Bezpečnosť je rovná 2, os vyhovuje.

$$\frac{d_3'}{d_2'} = \frac{31,8}{25} = 1,27 \quad (4.16)$$

$$\frac{R}{d_2'} = \frac{1}{25} = 0,04 \quad (4.17)$$

4.5 Kontrola osy na dovolený prieťah

Maximálny prieťah V_{\max} je znázornený na obr.4.6. Tento prieťah som vypočítal pomocou programu HRIDEL.



Obr.4.5 Prieťahová krivka osy

$$V_{\max} = 1,35 \text{ mm} \quad (4.18)$$

Výpočet dovoleného prieťahu :

$$V_D = (0,001 \div 0,005) \cdot L \quad (4.19)$$

$$V_D = 0,005 \cdot 1245 = 6,225 \text{ mm}$$

Kontrola na dovolený prieťah :

$$V_{\max} \leq V_D \quad (4.20)$$

$$1,35 \leq 6,22$$

Podmienka je splnená, hriadeľ vyhovuje.

5. Návrh ložiska

Keďže veľkosť reakcií v podporách je malá a na os pôsobí len radiálne zaťaženie volím guľôčkové ložisko jednoradá s tesnením na obidvoch stranách. Ložisko tesním pre prípad keby došlo k výmene písacej plochy za zelený keramický povrch, kde je nutne použiť kriedu na písanie. Toto ložisko ma tichší chod oproti valčekovému ložisku. Volím ložisko firmy SKF.

Typ ložiska: SKF*6305-2Z

5.1 Výpočet otáčok ložiska

V časti sa budem zaoberať určením otáčok ložiska, aby som určil či bude stačiť statická kontrola, alebo bude potrebná aj dynamická kontrola ložiska.

Výpočet rýchlosti zdvihu:

$$v = \frac{s}{t} \quad (5.1)$$

$$v = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ m/s}$$

Zo zadania plyní dráha, ktorá je rovná zdvihu tabule 500 mm. Čas t , za ktorý sa zdvihne tabuľa, som určil experimentom. Na podobnej tabuli v škole som urobil 10 meraní.

Aritmetickým priemerom som určil výsledný čas $t = 2 \text{ s}$.

$$v = \omega \cdot R \quad (5.2)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (5.3)$$

Porovnaním rovníc (5.2) a (5.3) dostanem výsledný vzorec pre otáčky osy:

$$n = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (5.4)$$

$$n = \frac{60 \cdot 0,25}{2 \cdot \pi \cdot 36,568 \cdot 10^{-3}} = 65,28 \text{ ot/min}$$

Kde R je polomer roztečnej kružnice reťazového kola.

Statická kontrola sa robí ak otáčky sú menšie ako 10 ot/min, otáčky n sú väčšie, ale vzhľadom na prerušovanú dobu prevádzky bude stačiť statická kontrola.

5.2 Statická kontrola

V tejto časti sa budem zaoberať statickým výpočtom ložiska. Výpočet je urobený podľa [1].

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} \quad (5.5)$$

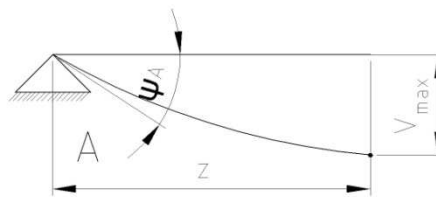
$$S_0 = \frac{11600}{3839,13} = 3$$

Bezpečnosť vyhovuje, kde C_0 je statická únosnosť ložiska, P_0 je statické ekvivalentné zaťaženie. Vzhľadom k tomu, že zaťaženie je čisto radiálne platí:

$$P_0 = R_A \quad (5.6)$$

5.3 Kontrola ložiska na dovolené natočenie

V tejto podkapitole sa budem zaoberať výpočtom natočenia ložiska v najkritickejšom mieste. Gulôčkové ložisko má dovolené natočenie 2 až 10'. Výpočet je urobený podľa [1].



Obr.5.1 Schéma výpočtu natočenia ložiska

$$\operatorname{tg} \psi_A = \frac{V_{\max}}{z} \quad (5.7)$$

$$\psi_A = \operatorname{arctg} \cdot \frac{V_{\max}}{z} = \operatorname{arctg} \cdot \frac{1,35}{621,49} = 0^{\circ}7'29''$$

$$\psi_A \leq \alpha_{\max} \quad (5.8)$$

$$0^{\circ}7'29'' \leq 10'$$

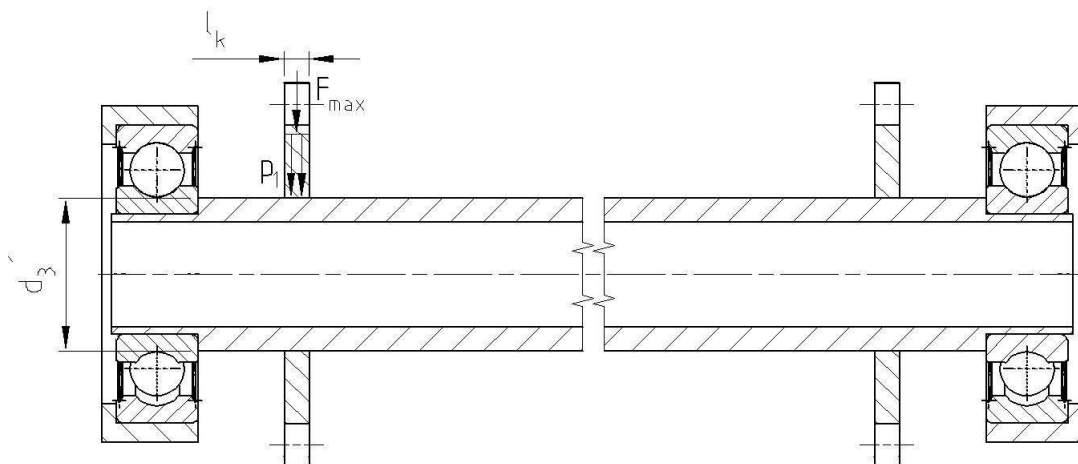
Podmienka je splnená. Kde y je priehyb v mieste z .

6. Kontrola reťazového kola

V tejto kapitole sa budem zaoberať kontrolou reťazového kola.

6.1 Výpočet dĺžky náboja kladky

Dĺžka náboja reťazového kola l_k mm musí vyhovovať podmienke pre merný stredný tlak p_1 na uloženej ploche. Výpočet je urobený podľa [1].



Obr.6.1 Schéma síl ktoré pôsobia na reťazové kolo

$$P_1 = \frac{F_{\max}}{l_k \cdot d_3'} \leq P_{D1} \quad (6.1)$$

$$l_k \geq \frac{F_{\max}}{d_3' \cdot P_{D1}} = \frac{3910,69}{31,8 \cdot 20} = 4,09 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Kde d_3' je priemer osy v mieste kde je reťazové kolo, p_D je dovolený merný tlak otáčajúceho sa čapu. Pre os z ocele a reťazové kolo z kalenej ocele je dovolený merný tlak 15 MPa, viz. [1], vzhľadom k tomu, že os má malé otáčky a prerušovanú pracovnú dobu, volím dvojnásobný dovolený merný tlak, $p_D = 30$ MPa.

Dĺžku náboja kola volím z katalógu Skf $l_{kr} = 7,37$ mm. Reťazové kolo PH S 08B -1A18.

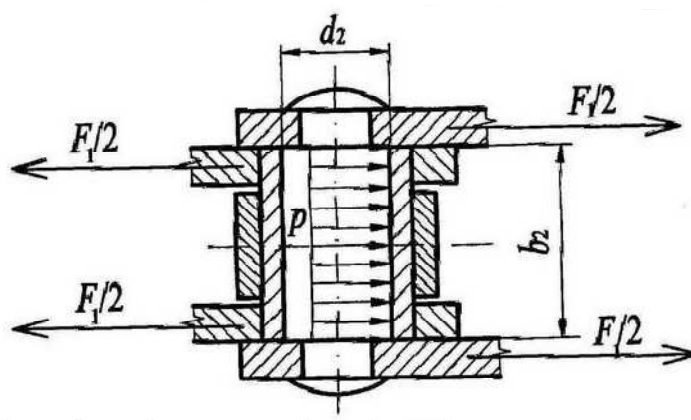
7. Návrh reťaze

Na reťaz bude pôsobiť veľká radiálna sila F_{\max} , z toho dôvodu volím valčekovú reťaz.

Valčeková reťaz je najrozšírenejšia na trhu preto by nemal byť problém pri objednávaní.

Z vypočítanej hrúbky reťazového kola vyplýva rozmer reťaze. Volím reťaz 121 článkov 08 B - 1 ČSN 02 3311.2. Výpočet je robený podľa [1].

7.1 Výpočet reťaze



Obr.7.1 Valčeková reťaz, viz [1].

Kontrola tlaku v kĺbe reťaze:

$$P_v = \frac{F_{\max}}{S} \quad (7.1)$$

$$P_v = \frac{F_{\max}}{b_2 \cdot d_2} = \frac{3910,69}{9 \cdot 4,45} = 97,6 \text{ MPa}$$

Kde F_1 je sila v reťazi, S je plocha reťazového kĺbu.

Dovolený tlak v reťazi:

$$P_D = \frac{F_{pt}}{b_2 \cdot d_2} \quad (7.2)$$

$$P_D = \frac{17800}{9 \cdot 4,45} = 444,4 \text{ MPa}$$

Kde F_{pt} je sila pri pretrhnutí reťaze.

Statická bezpečnosť:

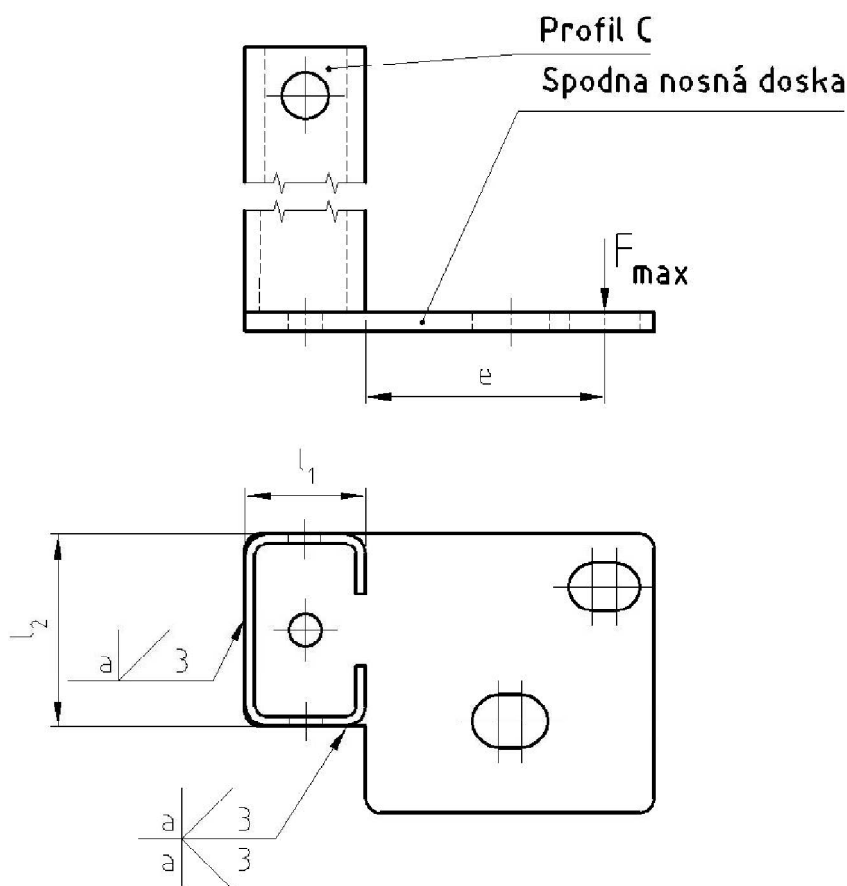
$$k_{s_r} = \frac{P_D}{P_V} \quad (7.3)$$

$$k_{s_r} = \frac{444,4}{97,6} = 4,5$$

Bezpečnosť vyšla väčšia ako 2, reťaz vyhovuje.

8. Výpočet zvaru

V tejto kapitole sa zaoberám výpočtom zvaru. Jedná sa o tupý zvar. Zvarenými časťami sú profil C a spodná nosná doska, ako je znázornené na obr.8.1. Na tento zvar pôsobí sila F_{\max} , ktorá je na reťazovom kole a ďalej sa prenáša cez reťaz, ktorá je uchytená v drážke packy. Na zvar pôsobí ohybový moment M_{o3} a smykové napätie vyvolané od posúvajúcej sily F_{\max} . Výpočet je urobený podľa [2].



Obr.8.1 Zvarený profil C so spodnou nosnou doskou

$$l_1 = 40 \text{ mm}$$

$$l_2 = 25 \text{ mm}$$

$$e = 49,5 \text{ mm}$$

Výpočet ťažiska v ose x:

$$y_T = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (8.1)$$

$$y_T = \frac{\left[\frac{a}{2} \cdot (l_1 \cdot a) \right] + (l_2 - 2 \cdot a) \cdot [(l_2 - 2 \cdot a) \cdot a] + \left(l_2 - \frac{a}{2} \right) \cdot (l_1 \cdot a)}{2 \cdot (l_1 \cdot a) + (l_2 - 2 \cdot a) \cdot a}$$

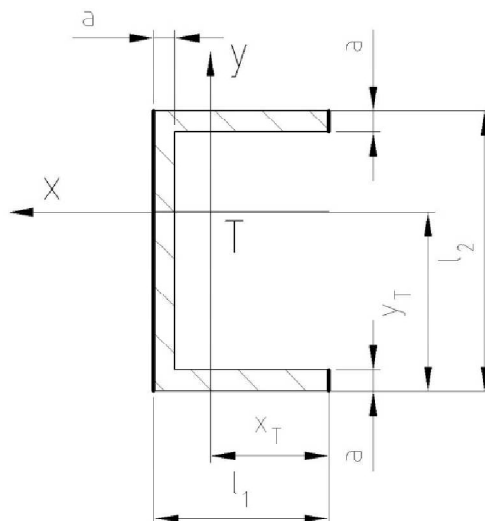
$$y_T = \frac{\left[\frac{3}{2} \cdot (25 \cdot 3) \right] + (40 - 2 \cdot 3) \cdot [(40 - 2 \cdot 3) \cdot 3] + \left(40 - \frac{3}{2} \right) \cdot (25 \cdot 3)}{2 \cdot (25 \cdot 3) + (40 - 2 \cdot 3) \cdot 3} = 25,6 \text{ mm}$$

Výpočet ťažiska v ose y:

$$x_T = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (8.2)$$

$$x_T = \frac{\left[2 \cdot \left(\frac{l_1}{2} \cdot l_1 \cdot a \right) \right] + \left(l_1 - \frac{a}{2} \right) \cdot [a \cdot (l_2 - 2 \cdot a)]}{2 \cdot (l_1 \cdot a) + [a \cdot (l_2 - 2 \cdot a)]}$$

$$x_T = \frac{\left[2 \cdot \left(\frac{25}{2} \cdot 25 \cdot 3 \right) \right] + \left(25 - \frac{3}{2} \right) \cdot [3 \cdot (40 - 2 \cdot 3)]}{2 \cdot (25 \cdot 3) + [3 \cdot (40 - 2 \cdot 3)]} = 16,9 \text{ mm}$$



Obr.8.2 Nosný prierez zvaru

Zvar je namáhaný v krajných vláknach prierezu. Na obr.8.2 znázornené hrubou čiarou.

Tam kde je väčšia vzdialenosť od ťažiska v ose x bude aj najväčšie napätie. Platí:

$$e_2 = e_{\max} = x_T = 16,9 \text{ mm} \quad (8.3)$$

Kvadraticky moment v ose x:

$$J_X = \sum J_{Xi} + \sum Steiner \quad (8.4)$$

$$J_X = 2 \cdot \left(\frac{a \cdot l_1^3}{12} \right) + \frac{a^3 \cdot (l_2 - 2 \cdot a)}{12} + 2 \cdot \left[a \cdot l_1 \cdot \left(e_{\max} - \frac{l_1}{2} \right)^2 \right] + a \cdot (l_2 - 2 \cdot a) \cdot \left[e_{\max} - \left(l_1 - \frac{a}{2} \right) \right]^2$$

$$J_X = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 25^3}{12} \right) + \frac{3^3 \cdot (40 - 2 \cdot 3)}{12} + 2 \cdot \left[3 \cdot 25 \cdot \left(16,9 - \frac{25}{2} \right)^2 \right] + 3 \cdot (40 - 2 \cdot 3) \cdot \left[16,9 - \left(25 - \frac{3}{2} \right) \right]^2$$

$$J_X = 15240,6 \text{ mm}^4$$

Výpočet modulu odporu v ohybu:

$$W_{OX} = \frac{J_X}{e_{MAX}} \quad (8.5)$$

$$W_{OX} = \frac{15240,6}{16,9} = 901,8 \text{ mm}^3$$

Výpočet napätia v ohybe:

$$\sigma_o = \frac{M_{O3}}{W_{OX}} \quad (8.6)$$

$$\sigma_o = \frac{193579,15}{901,8} = 214,6 \text{ MPa}$$

Výpočet ohybového momentu:

$$M_{O3} = F_{\max} \cdot e \quad (8.7)$$

$$M_{O3} = 3910,69 \cdot 49,5 = 193579,15 \text{ Nmm}$$

Výpočet smykového napätia:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{\max}}{\Sigma S_Z} \quad (8.8)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{3910,69}{252} = 15,5 \text{ MPa}$$

Kde ΣS_Z je súčet jednotlivých prierezov zvaru.

Výpočet výsledného napätia v zvare:

$$\sigma_V = \frac{\sigma_o + \tau_{\perp}}{k_3} \quad (8.9)$$

$$\sigma_V = \frac{214,6 + 15,5}{1} = 230,2 \text{ MPa}$$

Kde k_3 je prevodový súčiniteľ tupého zvaru

Výpočet dovoleného napätia

$$\sigma_D \geq \sigma_V \quad (8.10)$$

$$\sigma_D = \frac{Re}{k_s} \cdot k_1 \quad (8.11)$$

$$\sigma_D = \frac{590}{2,5} \cdot 1 = 295 \text{ MPa}$$

$$295 \geq 230,2$$

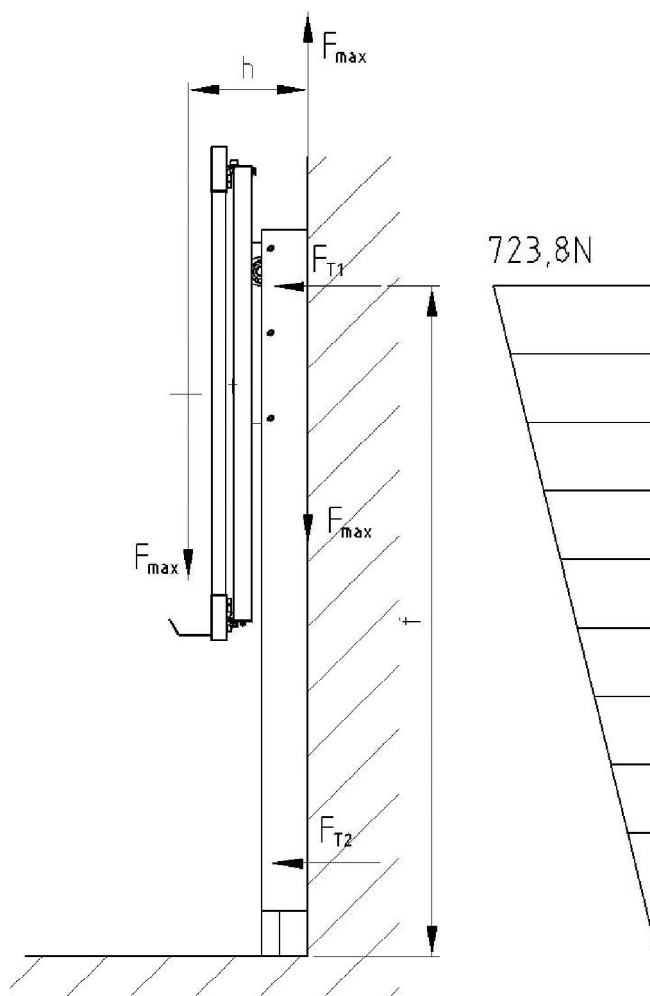
Podmienka vyhovuje.

Materiál zváraných súčiastok volím oceľ 14 220.4 s medzou klzu $Re=590\text{MPa}$. Tento materiál ma zaručenú zveriteľnosť. Prevodový súčiniteľ tupého zvaru volím $k_1=1$.

9. Kotviace skrutky

Tabuľa je zachytená v stene pomocou štyroch skrutiek a je položená na podlahe. Z tohto konštrukčného riešenia vyplýva, že skrutka je v krajnom prípade namáhaná na vytiahnutie zo steny, obr.9.1.

Z [6], volím chemickú kotvu. Výhoda je, že sa dá použiť pre rôzne typy stien. Je vhodná pre uchytenie do stien z plných aj dutých tehál, Plynosilikát (Ytong), betón a iné.



Obr.9.1 Pôsobenie síl na tabuľu

$$h = 261 \text{ mm}$$

$$f = 1410 \text{ mm}$$

Rovnica momentovej rovnováhy:

$$F_{\max} \cdot h = F_{T1} \cdot f \quad (9.1)$$

$$F_{T1} = \frac{F_{\max} \cdot h}{f} = \frac{3910,69 \cdot 261}{1410} = 723,8 \text{ N}$$

Pevnostná podmienka:

$$F_{DT} \geq F_{T1} \quad (9.2)$$

$$7500 \geq 723,8$$

Kde F_{T1} je ťahová sila v skrutke a F_{max} je najväčšia sila, ktorá pôsobí na tabuľu, viz. podkapitola 4.3.

Volím skrutku M8x120 so stúpaním 1,25mm, trieda pevnosti 8.8. Dovoľená ťahová sila $F_{DT}=7,5\text{kN}$. Skrutka vyhovuje.

10. Záver

Použité riešenia zabezpečujú hladký zdvih. Pri dostatočnom namazaní minimálnu hlučnosť, reťazové kola umožňujú bezpečný a presný posuv závažia a tabule. Rám tabule sa jednoducho pripevní na stenu pomocou štyroch chemických kotiev. Na takto upevnený rám sa zavesí závažie a pomocou ďalších štyroch skrutiek sa upevní tabuľa.

Tabuľa je navrhnutá s ohľadom na bezpečnosť, jednoduchú montáž a cenovú dostupnosť. Všetky zadané ciele boli splnené.

11. Zoznam použitej literatúry

- [1] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [2] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů*. MONTANEX, a.s., Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3.
- [4] MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vydání. Albra, 2006, ISBN 80-7361-033-7.
- [6] *Hlavní katalog*. SKF. 2007.
- [7] *Katalog FISHER*, http://www.fischer-cz.cz/desktopdefault.aspx/tabid-125/190_read-201/
- [8] Hridel, katedrální software

12. Zoznam príloh

A. Zostavný výkres tabule, KSS02 – 000 – 1

B. Výrobný výkres osy, KSS02 – 0 - 1

C. Kusovník, KSS02 – 00 – 1

D. CD